

云南省土壤侵蚀强度空间结构特征分析^{*}

熊波^{1,2,4}, 陈学华¹, 蒋锦刚^{1,3}, 刘艳锋^{1,2}

(1. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100041; 3. 成都信息工程学院, 成都 610225; 4. 成都地图出版社, 成都 610100)

摘要: 基于分形理论, 借助地理信息系统(GIS)技术对云南省土壤侵蚀强度空间结构分形进行定量研究, 结果表明: 云南省土壤侵蚀强度空间结构特征客观存在, 微度、轻度、中度、强度、极强度、剧烈 6 个侵蚀强度等级的周长-面积关系客观存在; 云南省土壤侵蚀强度中, 极强度水力侵蚀分维最大, 为 1.605; 剧烈水力侵蚀分维最小, 为 1.540; 极强度水力侵蚀斑块镶嵌结构最复杂, 剧烈水力侵蚀斑块镶嵌结构最简单; 以极强度水力侵蚀斑块镶嵌结构的稳定性最高, 为 0.105, 中度水力侵蚀斑块镶嵌结构的稳定性其次, 为 0.095, 而以剧烈水力侵蚀斑块镶嵌结构的稳定性最低, 为 0.040; 剧烈水力侵蚀的平均形状指数最大, 为 0.156, 微度冻融侵蚀的平均形状指数最小, 为 0.067; 剧烈水力侵蚀的平均紧凑度最大, 为 0.554, 微度冻融侵蚀的平均紧凑度最小, 为 0.237。

关键词: 地理信息系统(GIS); 分形分维; 土壤侵蚀强度; 稳定性指数; 形状指数

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0006-05

The Spatial Structure Analysis of Soil Erosion Intensity in Yunnan Province

XIONG Bo^{1,2,4}, CHEN Xue-hua¹, JIANG Jin-gang^{1,3}, LIU Yan-feng^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduated University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100041, China; 3. Chengdu University

Information Technology, Chengdu 610225, China; 4. Chengdu Cartographic Publishing House (CCPH)

Chengdu 610100, China)

Abstract: The fractal of spatial structure of erosion intensity in Yunnan Province is discussed in this paper based on GIS. Some significant conclusions are drawn: (1) A certain relationship between perimeter and area of soil erosion intensity patches objectively exists for soil erosion intensity in Yunnan Province. (2) Fractal dimensions of soil erosion intensity of Yunnan Province are calculated. It is the biggest with the very strength water erosion being 1.605, and the smallest with the fierce water erosion being 1.504. (3) The stability of spatial structure is the highest with the very strength water erosion being 0.105, second with the moderate water erosion being 0.095, and the smallest with the fierce water erosion being 0.040. (4) The average Shape Index is the highest with the fierce water erosion being 0.156, and the smallest with the micro-degree freeze-thaw erosion being 0.067. (5) The average compactness is the highest with the fierce water erosion being 0.554, and the smallest with the micro-degree freeze-thaw erosion being 0.237.

Key words: Geographic Information System(GIS); fractal dimension; soil erosion intensity; stability index; shape index

自 1967 年美国科学家曼得尔布罗特发出“英国海岸线究竟有多长?”的诘问以来^[1], 分形理论的产生至今已经 30 多年了, 与历经 2000 多年的欧氏几何相比, 分形、分维产生时间虽短, 但其在描述复杂几何形状方面的优势越来越显著。分形理论已经广

泛应用于诸多领域, 比如地震分形、旱涝灾害的分形、地震旱涝灾害灾情中的分形、海岸线分形、山系分形、断层线分形、水系的分形、土地结构的分形、土壤结构的分形、植被结构的分形等等, 构成了当代科学前沿一个被广义称为“分形学”的学科范围十分广

* 收稿日期: 2008-08-26

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(2003CB415201); 中国科学院“西部之光”项目(2005C20609090)

作者简介: 熊波(1980-), 男, 四川简阳人, 硕士研究生, 主要从事水土流失、遥感监测、地理信息系统的应用研究。E-mail: xb0832@163.com

通信作者: 陈学华(1966-), 男, 湖南华容县人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 水土保持、遥感及地理信息系统的应用。E-mail: xhchen@imde.cn

阔、研究成果相当丰硕以及前景诱人的热门研究领域^[2]。基于分形理论对哲学发展的贡献, 以及分形理论在各学科中已经呈现出的实际应用效果, 它不仅显示很大的价值, 而且也由此把它作为 20 世纪 70 年代世界科学的三大发现之一^[3]。

水土流失研究主要集中在水土流失监测与评价方法、水土流失的快速调查技术、土壤侵蚀的特征分析、土壤侵蚀管理信息系统的开发、水土流失的治理、水土流失的机理研究等, 对土壤侵蚀强度的空间结构分形分维研究还少见报道, 因此以云南省 1: 10 万土壤侵蚀数据为例, 探讨该方面的研究。

1 数据源及研究方法

1.1 数据源

数据来自于地球系统科学数据共享网西南山地分中心(<http://imde.geodata.cn>) 1: 10 万云南省土壤侵蚀数据集。数据投影为 Albers, 双标准纬线为 25°和 47°, 中央经线为 105°, 椭球体参数为 Krassovsky, 坐标系统为 Beijing1954, 数据格式为 ArcGIS 下的 coverage, 数据精度良好。土壤侵蚀类型被划分为水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀, 强度等级被划分为微度、轻度、中度、强度、极强度、剧烈 6 个等级。

1.2 研究方法

分形理论是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种横跨自然科学、社会科学和思维科学的新理论, 主要研究和揭示复杂自然现象和社会现象中所隐藏的规律性、层次性和标度不变性。它是在“分形”概念的基础上升华和发展起来的。所谓分形, 是指其组成部分以某种方式与整体相似的几何形态, 或者是指在很宽的尺度范围内, 元特征尺度却有自相似性和自仿射性的一种现象^[4]。

分形最重要的特征就是自相似性, 其自相似性使其内部结构不存在特征尺度(或称标度), 故它具有无标度性。人们已不能像对待普通物体所习惯那样, 通过长度、重量、体积等参数来刻画分形的特征, 而要通过其分维数来描述。分维是分形理论可以广

泛应用于各学科领域的出发点, 目前人们已经提出了多种关于分维值的测算方法, 主要包括盒子计算法、周长- 面积法、网格法、裂缝岛屿法等。

本研究采用周长- 面积法进行分维值计算, 其数学定义为: 假设研究面状地物的周长为 P , 面状地物的面积为 S , 则面状分形对象的周长- 面积关系为^[5]

$$P^{\frac{1}{D}} \propto A^{\frac{1}{2}}$$

即

$$A \propto P^{\frac{2}{D}}$$

对于某一土壤侵蚀强度而言, 只要通过其系列斑块的周长、面积数据作双对数回归分析拟合, 就可以求取其分维 D 值, 即拟合直线的斜率值等于 $2/D$ 。通过双对数回归分析, 可建立某土壤侵蚀强度系列斑块周长- 面积关系为

$$\lg A = \frac{2}{D} \lg P + C$$

式中: A —— 某一斑块面积; P —— 同一斑块周长; C —— 待定常数; D —— 分维值。 D 值越大, 表示空间上的镶嵌结构越复杂, 当 $D = 1.5$ 时, 表示处于一种类似于布朗运动的随机运动状态, 即空间结构最不稳定, D 值越接近 1.5, 表示空间结构越不稳定^[6-7]。

土壤侵蚀强度空间结构稳定性指数 SK 计算公式为

$$SK = |1.5 - D|$$

SK 值越大, 表示空间结构越稳定。

2 土壤侵蚀强度周长- 面积分形分维分析

云南省土壤侵蚀强度共分为水力侵蚀 6 个等级, 冻融侵蚀 1 个等级。云南土壤侵蚀强度的周长- 面积双对数散点关系如图 1 所示, 在 SPSS 16.0 软件对图 1 中两组散点进行线性回归分析可得云南省土壤侵蚀强度周长- 面积关系。云南土壤侵蚀强度斑块数、周长- 面积双对数散点关系、周长- 面积关系、分维和稳定性指数如表 1 所示。

表 1 云南土壤侵蚀强度斑块数、周长- 面积关系、分维、稳定性指数表

土壤侵蚀强度	斑块数/ 个	周长- 面积关系	复相关系数 R	决定系数 R^2	分维	稳定性指数
微度水力侵蚀	4324	$\lg S = 1.2751 \lg P + 2.547$	0.944	0.892	1.569	0.069
轻度水力侵蚀	14849	$\lg S = 1.2781 \lg P + 2.558$	0.957	0.916	1.565	0.065
中度水力侵蚀	16346	$\lg S = 1.2541 \lg P + 2.712$	0.944	0.890	1.595	0.095
强度水力侵蚀	1939	$\lg S = 1.2941 \lg P + 2.423$	0.949	0.900	1.546	0.046
极强度水力侵蚀	116	$\lg S = 1.2461 \lg P + 2.995$	0.934	0.872	1.605	0.105
剧烈水力侵蚀	44	$\lg S = 1.2991 \lg P + 2.589$	0.955	0.911	1.540	0.040
微度冻融侵蚀	36	$\lg S = 1.2741 \lg P + 0.122$	0.988	0.975	1.570	0.070

表 1 中各土壤侵蚀强度的周长-面积关系均可以通过 R 显著性检验, 斑块的周长-面积双对数关系显著, 也即云南土壤侵蚀强度空间分形结构特征客观存在, 即各土壤侵蚀强度都是自然-人工分形体。

由(3)式计算得到云南土壤侵蚀强度的分维, 见表 1。在各土壤侵蚀强度中, 以极强度水力侵蚀分维最大, 为 1.605; 以剧烈水力侵蚀分维最小, 为 1.540, 两者相差 0.145。云南土壤侵蚀强度空间结构复杂程度的大小关系为: 极强度水力侵蚀 > 中度水力侵蚀 > 微度冻融侵蚀 > 微度水力侵蚀 > 轻度水力侵蚀 > 强度水力侵蚀 > 剧烈水力侵蚀。可见极强度水力侵蚀的空间结构最复杂, 剧烈水力侵蚀的空间结构最简单。

3 云南土壤侵蚀强度稳定性指数分析

由(4)式可计算得到云南土壤侵蚀强度的稳定性指数, 见表 1。云南省土壤侵蚀强度中, 以极强度水力侵蚀斑块镶嵌结构的稳定性最高, 中度水力侵蚀斑块镶嵌结构的稳定性其次, 而以剧烈水力侵蚀斑块镶嵌结构的稳定性最低。云南省土壤侵蚀强度斑块镶嵌结构稳定性的大小关系为: 极强度水力侵蚀 > 中度水力侵蚀 > 微度冻融侵蚀 > 微度水力侵蚀 > 轻度水力侵蚀 > 强度水力侵蚀 > 剧烈水力侵蚀。

4 云南省土壤侵蚀强度形状指数和紧凑度分析

4.1 云南省土壤侵蚀强度形状指数分析

景观的结构特征是由斑块、廊道、基质等景观要素的类型、大小(面积)、形状、数量和组合关系等特征决定的^[8]。景观要素的面积、周长等形状特征确定的景观要素的形状指数可以作为反映一定尺度上斑块和景观复杂程度的定量指标, 也是景观要素受到干扰程度的反映。形状指数越小, 景观要素的几何形状越简单, 受到的干扰越大, 形状指数越大, 景观要素的几何形状越复杂, 受到的干扰越小。景观要素的形状指数对景观要素的规划、建设、布局、保护和管理都有重要的指导意义。

土壤侵蚀强度形状指数就是表示土壤侵蚀强度空间形态特征的定量指标。对土壤侵蚀的治理、管理等都有意义。其数学表达式为

$$K = \sqrt{S}/P \tag{5}$$

式中: K ——土壤侵蚀强度斑块形状指数; S ——土壤侵蚀强度斑块面积; P ——土壤侵蚀强度斑块周长。

从图 2 可以分析出, 云南微度水力侵蚀的形状指数范围为 0.001 5~0.274 4, 有 73% 分布在 0.12~0.25, 平均形状指数为 0.152; 轻度水力侵蚀的形状指数范围在 0.101 0~0.272 4, 有 69% 分布在 0.12~0.25, 平均形状指数为 0.147; 中度水力侵蚀的形状指数范围在 0.014 6~0.275 7, 有 71% 分布在 0.12~0.25, 平均形状指数为 0.149; 强度水力侵蚀的形状指数范围在 0.021 2~0.268 2, 有 65% 分布在 0.12~0.25, 平均形状指数为 0.143; 极强度水力侵蚀的形状指数范围在 0.052 3~0.255 9, 有 67% 分布在 0.12~0.25, 平均形状指数为 0.148; 剧烈水力侵蚀的形状指数范围在 0.061 1~0.233 7, 有 73% 分布在 0.12~0.25, 平均形状指数为 0.156; 微度冻融侵蚀的形状指数范围在 0.025 6~0.122 2, 有 50% 分布在 0.05~0.12, 平均形状指数为 0.067。斑块形状指数的变化规律, 随着斑块形状狭长程度的增加而变大, 也是一定尺度上斑块和景观复杂程度的反映。斑块形状指数越小, 表明斑块形状越有规律, 斑块的几何形状越简单, 更趋向于正方形或圆形, 受到的干扰也越大。相反, 斑块形状指数越大, 表明斑块形状越复杂, 斑块的几何形状越狭长, 受到的干扰也越小^[9]。从以上分析的土壤侵蚀强度形状指数可以看出, 云南省土壤侵蚀多为团状和斑块状, 几何形状趋向简单, 形状较为规则, 表明受干扰的程度较大。

4.2 云南省土壤侵蚀强度紧凑度分析

紧凑度是衡量场地空间数据图形的完整性和聚集性的指标。它是反映平面外围轮廓形态的一个十分重要的概念, 其表达式为

$$C = 2 \sqrt{\pi S}/P \tag{6}$$

式中: C ——指平面区域的紧凑度; S ——指区域面积; P ——指区域轮廓周长。圆是一种形状最紧凑的图形, 圆内各部分空间高度压缩, 当平面形状为圆形时, C 为最大值 1, C 值越接近于 1, 表示平面图形越规则; 其值越小, 则表明平面形状与圆形相差越大, 形状越不规则。

从图 3 可以分析出, 云南微度水力侵蚀的紧凑度数范围在 0.005 5~0.973 0, 有 91% 分布在 0.2~0.8, 平均紧凑度为 0.540; 轻度水力侵蚀的紧凑度范围在 0.039 0~0.965 8, 有 92% 分布在 0.2~0.8, 平均紧凑度为 0.523; 中度水力侵蚀的紧凑度范围在 0.051 7~0.977 3, 有 91% 分布在 0.2~0.8, 平均紧凑度为 0.527; 强度水力侵蚀的紧凑度范围

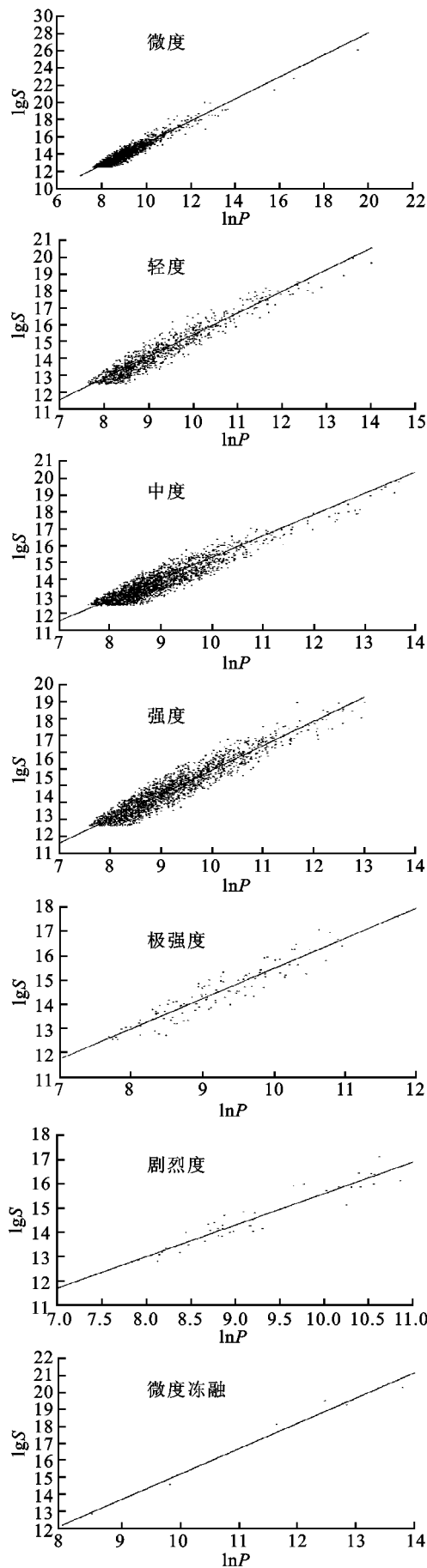


图 1 不同侵蚀强度下侵蚀周长-面积对数关系

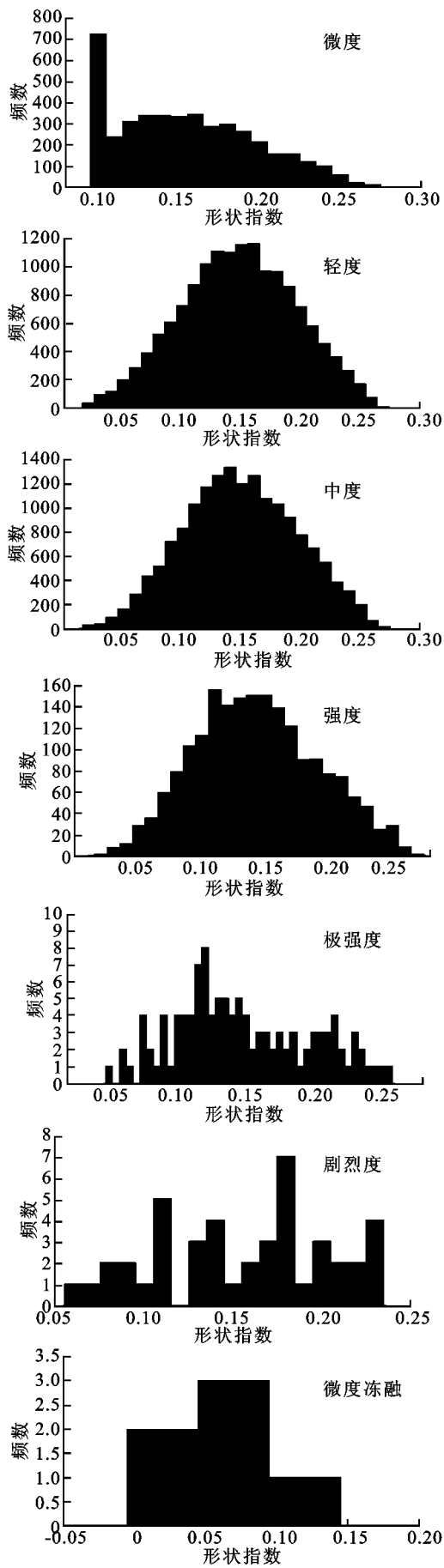


图 2 不同侵蚀强度下侵蚀形状指数频率分布

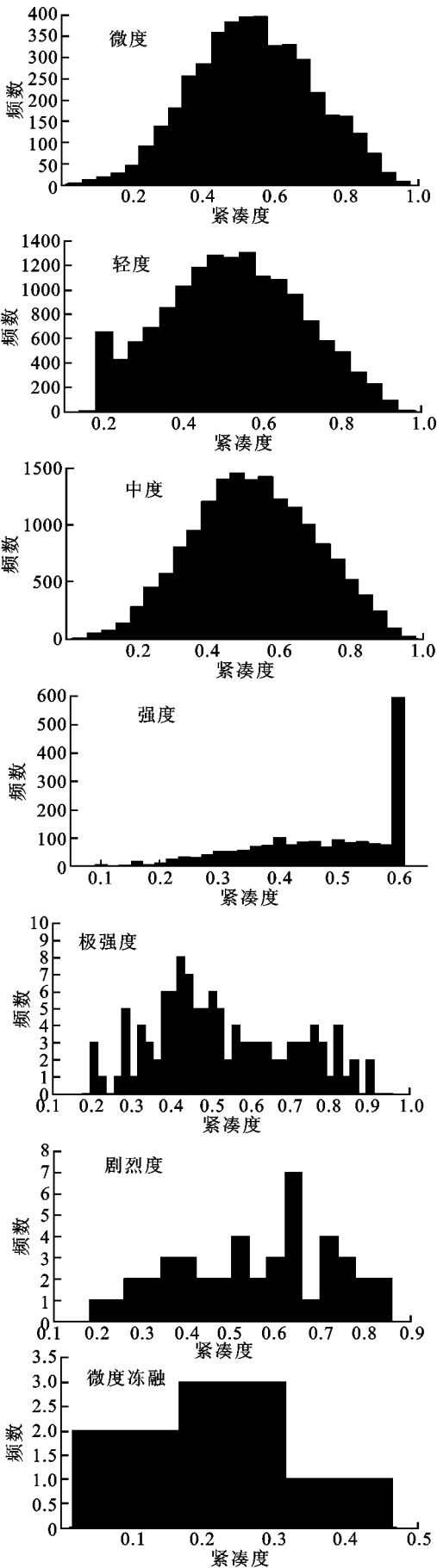


图 3 不同侵蚀强度下侵蚀紧凑度频率分布

为在 0.075 0~ 0.950 8, 有 92% 分布在 0.2~ 0.8, 平均紧凑度为 0.507; 极强度水力侵蚀的紧凑度范围在 0.185 5~ 0.907 0, 有 90% 分布在 0.2~ 0.8, 平均紧凑度为 0.524; 剧烈水力侵蚀的紧凑度范围在 0.216 5~ 0.828 5, 有 90% 分布在 0.2~ 0.8, 平均紧凑度为 0.554; 微度冻融侵蚀的紧凑度范围在 0.090 7~ 0.433 2, 有 67% 分布在 0.1~ 0.4, 平均紧凑度为 0.237。

5 结 语

基于分形理论, 借助地理信息系统(GIS)技术对云南省土壤侵蚀强度空间结构分形进行定量研究, 不仅建立了中国各土壤类型系列斑块周长、面积之间的定量关系, 而且进一步计算出云南省土壤侵蚀强度在空间上斑块镶嵌结构的分维与稳定性指数, 形状指数和紧凑度, 从而为土壤侵蚀的调查、治理、管理等方面提供有用的参数。土壤侵蚀是自然界、人为因素长期作用的结果, 本文对云南土壤侵蚀强度空间结构分形与分维的系统揭示, 也许可为土壤侵蚀系统复杂性研究提供有益的借鉴与启示, 为进一步揭示土壤侵蚀的内在机理提供理论基础和新的机遇。

参考文献:

[1] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical selfsimilarity and fractional dimension[J]. Science, 1967, 156(3775): 636-638.

[2] 朱晓华, 蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制[J]. 地理科学, 2005, 25(6): 671-677.

[3] 朱晓华. 地理空间信息的分形分维[M]. 北京: 测绘出版社, 2007: 1-5.

[4] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 392-405.

[5] 朱晓华, 杨秀春, 蔡运龙. 中国土壤空间分布的分形与分维[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 881-888.

[6] 张志锋, 宫辉力, 赵文吉, 等. 基于 GIS、RS 的野鸭湖及周边湿地资源动态变化分形研究[J]. 国土资源遥感, 2004, 61(3): 42-45.

[7] Yu Wanjun, Wu Cifang, Guan Tao. Spatial pattern change of land use in Tunliu county, Shanxi Province based on GIS and fractal theory[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 64-69.

[8] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 21-32.

[9] 刘学录. 盐化草地景观中的斑块形状指数及其生态学意义[J]. 草业科学, 2000, 17(2): 50-52.